



Brennen und Löschen



5.01

Merkblatt für die Feuerwehren Bayerns

Stand: 10/2004

Inhaltsverzeichnis

I. Verbrennungsvorgang	3
1. Voraussetzungen der Verbrennung	3
1.1 Brennbare Stoffe	4
1.2 Sauerstoff	9
1.3 Wärme	11
2. Die Verbrennung	12
2.1 Mindestverbrennungstemperatur	12
2.2 Verbrennungsgeschwindigkeit	13
3. Ergebnis der Verbrennung	15
3.1 Wärme	15
3.2 Verbrennungsgase (Brandgase)	17
3.3 Feste Rückstände	17
II. Löschvorgang	18
1. Abkühlen	18
2. Ersticken	19
2.1 Verdrängen	19
2.2 Abdecken	20
3. Beseitigen	20

Anlage: Verbrennungsschema

Brennen und Löschen

Änderungen

Gegenüber dem Merkblatt nach dem Stand 02/1997 wurden folgende wesentliche Änderungen vorgenommen:

- Aufgrund des Wegfalls der Verordnung über brennbare Flüssigkeiten wurden die entsprechenden Inhalte in Nr. 1.1.3 aktualisiert
- Die neue Rechtschreibung wurde angewandt

I. Verbrennungsvorgang

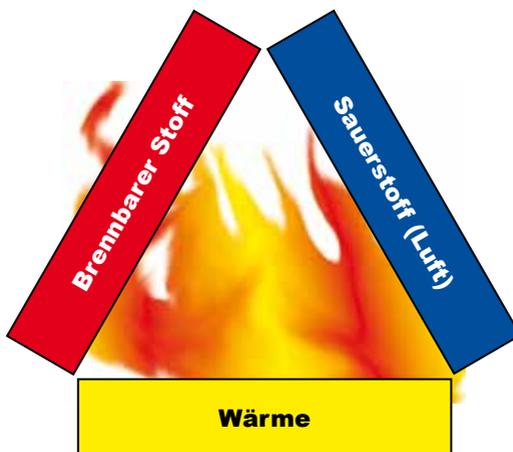
1. Voraussetzungen der Verbrennung

Für das Zustandekommen eines Feuers müssen drei Voraussetzungen erfüllt sein:

- Etwas „zum Verbrennen“ (brennbarer Stoff)
- Genügend Luft (benötigt wird der Sauerstoff, der zu etwa 21 % in der Luft enthalten ist)
- Etwas „zum Anzünden“ (Wärme)

Auf die vereinfachte „klassische“ und allgemein verständliche „Verbrennungsformel“ gebracht, lautet der Vorgang:

B + **S** + **W** = **Feuer¹**
Brennbarer und **Sauerstoff** und **Wärme** ergibt **Feuer**
Stoff



¹ Feuer umfasst sowohl bestimmungsgemäßes Brennen (Nutzfeuer) als auch nicht bestimmungsgemäßes Brennen (Schadenfeuer). Brand ist ein nicht bestimmungsgemäßes Brennen (Schadenfeuer), das sich unkontrolliert ausbreiten kann.

1.1 Brennbarer Stoff

Brennbare Stoffe sind gasförmige, flüssige oder feste Stoffe einschließlich Dämpfe, Nebel und Stäube, die im Gemisch oder im Kontakt mit Luft oder Sauerstoff brennen können.

1.1.1 Form und Zustand der brennbaren Stoffe

Für die Erklärung des Verbrennungsvorgangs hat sich folgende Einteilung der brennbaren Stoffe nach Form und Zustand bewährt:

– Feste, glutbildende brennbare Stoffe

Diese Stoffe werden unterschieden in

• Feste, zersetzliche brennbare Stoffe

Durch Wärmeeinwirkung gehen sie in der Regel vor Einleitung der Zündung zum Teil in den gasförmigen Zustand über.

Beispiele:

Holz

Kohle

Papier

Die Temperatur, bei der die Zersetzung fester zersetzlicher brennbarer Stoffe in gasförmige und feste Bestandteile beginnt, nennt man **Schwelpunkt**.

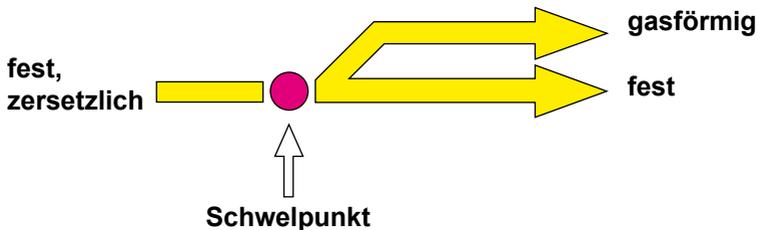


Bild 1: Zustandsänderung bei festen, zersetzlichen brennbaren Stoffen (Die Pfeildarstellungen beziehen sich jeweils auf die Anlage „Verbrennungsschema“)

Die festen Bestandteile (Kohlenstoff) verbrennen mit Glut, die gasförmigen mit Flamme.

Am Beispiel von Holz kann die Zersetzung verdeutlicht werden:

Ein Teil der zugeführten Wärme wird zunächst zur „Aufbereitung“ des Holzes verbraucht. Es entsteht eine Art „Gaswerk“. Sichtbar wird der Vorgang am Holzspan, der bei kurzzeitiger Erwärmung „raucht“ (schwelt).

- Feste, nicht zersetzliche brennbare Stoffe

Diese Stoffe verbrennen nur mit Glut, da die gasförmigen Teile fehlen.

Beispiel:

Künstlich entgaste, feste brennbare Stoffe, wie Koks oder Holzkohle

**fest,
nicht zersetzlich**



fest

Bild 2: Bei festen, nicht zersetzlichen brennbaren Stoffen erfolgt beim Erwärmen keine Zustandsänderung (Ausnahme: Schmelzen bei sehr hohen Temperaturen, z. B. bei Schweißarbeiten)

- Dampfbildende brennbare Stoffe

Diese Stoffe werden unterschieden in

- Plastische brennbare Stoffe (wärmeflüssig)

Durch Wärmeeinwirkung gehen sie in der Regel zuerst in den flüssigen und schließlich in den dampfförmigen (Aggregat-) Zustand über.

Beispiele:

Wachs

Stearin

Fette

Teer

Bestimmte Kunststoffe

Die Temperatur, bei der plastische (oder feste) brennbare Stoffe in den flüssigen Aggregatzustand übergehen, nennt man **Schmelzpunkt**.

Flammpunkt¹ ist die niedrigste Temperatur eines flüssigen oder flüssig gewordenen, plastischen brennbaren Stoffes, bei der sich (unter festgelegten Bedingungen) Dämpfe in solcher Menge entwickeln, dass über dem Flüssigkeitsspiegel ein durch Fremdzündung entzündbares Dampf-/Luft-Gemisch entsteht.

¹ Physikalisch wird die Temperatur, bei der eine Flüssigkeit unter Sieden in den dampfförmigen Zustand übergeht, Siedepunkt genannt. Für den Verbrennungsvorgang spielt jedoch der Flammpunkt eine viel größere Rolle. Dieser wird deshalb vordergründig behandelt.

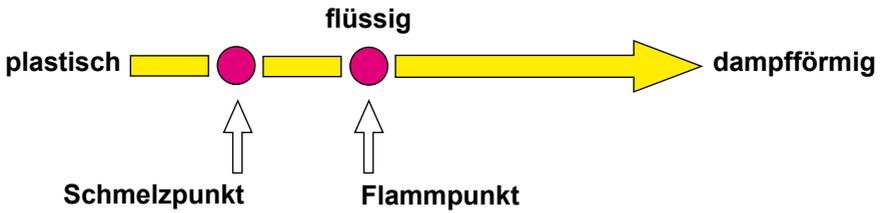


Bild 3: Zustandsänderungen bei plastischen brennbaren Stoffen

Die entstehenden Dämpfe verbrennen mit Flamme. Wie bei den festen, zersetzlichen Stoffen wird auch hier ein Teil der zugeführten bzw. entstehenden Wärme zur „Aufbereitung“ des brennbaren Stoffes verbraucht (Schmelzwärme, Verdampfungswärme).

- Flüssige brennbare Stoffe

Diese Stoffe gehen direkt in den dampfförmigen Zustand über.

Beispiele:

- Benzin
- Spiritus
- Petroleum
- Dieselöl
- Heizöl

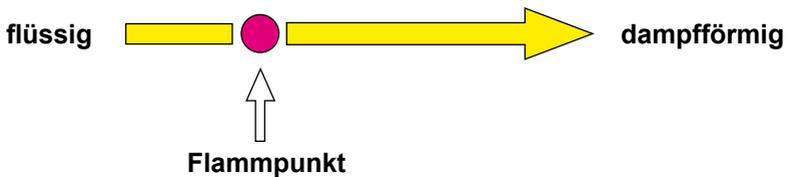


Bild 4: Zustandsänderung bei flüssigen brennbaren Stoffen

Die entstehenden Dämpfe verbrennen mit Flamme. Die Dämpfe sind bei bestimmten Arten der flüssigen brennbaren Stoffe bereits bei Normaltemperatur vorhanden. Bei anderen entstehen sie erst nach „Aufbereitung“ des flüssigen brennbaren Stoffes durch zusätzliche Wärmeeinwirkung („Aufheizen“).

- Gasförmige brennbare Stoffe
Diese Stoffe befinden sich bereits bei Normaltemperatur im gasförmigen Zustand.



Bild 5: Bei gasförmigen brennbaren Stoffen erfolgt beim Erwärmen keine Zustandsänderung.

Die Verbrennung erfolgt nur mit Flamme. In diese Gruppe gehören auch unter Druck stehende Gase.

1.1.2 Entzündbarkeit brennbarer Stoffe (allgemein)

Entzündbarkeit ist die Fähigkeit brennbarer Stoffe oder Stoffgemische, mehr oder weniger leicht entzündet werden zu können.

Sie gibt Hinweise auf die Wahrscheinlichkeit der Brandentstehung.

Die Entzündbarkeit ist von mehreren Faktoren abhängig:

Form und Zustand des brennbaren Stoffes

Verteilung des brennbaren Stoffes

Seinen Eigenschaften (Explosionsgrenzen, Schmelzpunkt, Flammpunkt, Schwelppunkt)

Der Zufuhr von Sauerstoff

Zündenergie

In der Regel sind über die Entzündbarkeit nur vergleichende Aussagen möglich.

Danach können die brennbaren Stoffe allgemein in folgende Gruppen eingeteilt werden:

- Selbstentzündlich
Stoffe, die sich ohne äußere Wärmezufuhr entzünden können
Beispiele:
Weißer Phosphor
Unsachgemäß gelagertes Heu
Ölige Putzlappen
- Leicht entzündlich
Stoffe, die sich bei geringer Wärmezufuhr (Funken, glimmende Zigarette) entzünden
Beispiele:
Propangas
Benzindämpfe
Acetylen

- Normal entzündlich
Stoffe, die sich mit geringer Zündenergie (Streichholz) entzünden lassen
Beispiele:
Papier
Holzstäbchen
- Schwer entzündlich
Stoffe, die zur Entzündung eine stärkere Wärmezufuhr (Gasbrenner) benötigen
Beispiele:
Kohle
Holzbrett
Koks

1.1.3 Entzündbarkeit dampfbildender brennbarer Stoffe

Für die Entzündbarkeit von dampfbildenden brennbaren Stoffen ist der Flammpunkt (Definition siehe Seite 5) eine maßgebende Größe. Für die bisherige Einteilung in die Gefahrenklassen nach der Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (zurückgezogen zum 1.1.2003) tritt jedoch eine Einteilung nach Entzündlichkeit entsprechend der aktuellen Betriebssicherheitsverordnung. Danach werden die brennbaren Flüssigkeiten wie folgt eingestuft:

Bezeichnung	Gefahrensymbol	Kriterien	Beispiele
hochentzündlich		Flüssige Stoffe mit einem Flammpunkt < 0 °C und einem Siedepunkt ¹ von < 35 °C	Benzin Äther Aceton
leichtentzündlich		<ul style="list-style-type: none"> • Flüssige Stoffe mit einem Flammpunkt < 21 °C • Flüssige Stoffe, die mit Wasser unter Bildung hochentzündlicher Gase reagieren • An der Luft selbstentzündliche flüssige Stoffe 	Alkohol Methanol Petroleum
entzündlich	kein Symbol, nur Gefahrenhinweis „Entzündlich“	Flüssige Stoffe mit einem Flammpunkt von 21 °C bis 55 °C	Terpentin

¹ Als Siedepunkt bezeichnet man die Temperatur, bei der ein Stoff vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand übergeht (z. B. Wasser bei 100 °C). Der Siedepunkt ist abhängig vom Stoff und vom Druck.

1.2 Sauerstoff

1.2.1 Eigenschaften

Farb- und geruchloses Gas

Nicht brennbar, ohne ihn ist jedoch keine Verbrennung möglich

Mit ca. 21 % in der Luft enthalten.

1.2.2 Mengenverhältnis

Brennbare Stoffe können nur innerhalb eines zündfähigen Gemisches mit Sauerstoff (Mengenverhältnis) zum Brennen gebracht werden.

Das Mengenverhältnis und damit die Entzündbarkeit (und die Verbrennungsgeschwindigkeit) des Gemisches können dabei durch

- Änderung der Verteilung der brennbaren Stoffe und
- durch Änderung der Sauerstoffkonzentration

beeinflusst werden.

1.2.2.1 Verteilung brennbarer Stoffe

Durch die unterschiedliche Verteilung brennbarer Stoffe ist eine gleichwertige Vermengung mit Sauerstoff nicht immer gegeben. So können sich brennbare Gase oder Dämpfe mit Sauerstoff inniger verbinden als feste brennbare Stoffe mit Sauerstoff. Zur Unterscheidung werden die Begriffe „Kontaktverhältnis“ für feste Stoffe und „Mischungsverhältnis“ für Gase und Dämpfe in Verbindung mit Sauerstoff verwendet.

- Kontaktverhältnis

Das Verhältnis von Oberfläche zum Volumen ist das Maß für die Verteilung fester brennbarer Stoffe. Je größer das Verhältnis, d. h. je feiner der Stoff verteilt ist, um so besser ist das Kontaktverhältnis des brennbaren Stoffes mit dem Sauerstoff der Luft, z. B. sind Holzspäne feiner verteilt und haben deshalb ein besseres Kontaktverhältnis mit dem Sauerstoff der Luft als Holzbalken. Dadurch wird weniger Zündenergie (Zündwärme) zur Entzündung des brennbaren Stoffes benötigt und seine Verbrennungsgeschwindigkeit wird größer. Feinstverteilte, feste brennbare Stoffe (z. B. Stäube) erreichen ähnliche Bedingungen wie brennbare Gase und Dämpfe.

- Mischungsverhältnis

Das Maß für die Verteilung der dampfbildenden und gasförmigen brennbaren Stoffe ist ihre Konzentration (Mischungsverhältnis) in der Luft.

Wird das niedrigste bzw. das höchste Mischungsverhältnis erreicht, bei dem sich ein Brennen nach dem Entzünden gerade nicht mehr selbständig fortsetzen kann, so bezeichnet man dieses Mischungsverhältnis als die **untere** bzw. die **obere** Zündgrenze. Der Bereich zwischen der unteren und oberen Zündgrenze wird als Zündbereich bezeichnet. Wird das optimale Mischungsverhältnis

erreicht, kann sich die Verbrennungsgeschwindigkeit (siehe Nr. 2.2) bis zur Explosion (Detonation) steigern.

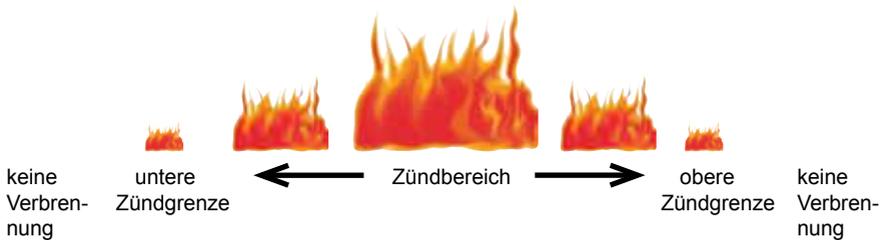


Bild 6: Zündfähigkeit dampfförmiger und gasförmiger brennbarer Stoffe

Der Zündbereich ist je nach brennbarem Stoff unterschiedlich. Er wird als Konzentration des brennbaren Stoffes, bezogen auf die Luft, in Prozent angegeben.

Beispiele:

Benzindämpfe	0,4 - 8 %	(enger Zündbereich)
Erdgas	4,4 - 16,5 %	(mittlerer Zündbereich)
Acetylen	1,5 - 82 %	(weiter Zündbereich)

1.2.2.2 Sauerstoffkonzentration

Durch die Änderung der Sauerstoffkonzentration (Sauerstoffanteil in der Luft) findet statt:

- Bei *schlechter Luftzufuhr* oder niedrigem Sauerstoffgehalt schlechtere oder gar keine Verbrennung
Durch *plötzliche Luftzufuhr* kann eine schnelle Verbrennung stattfinden (Stichflammenbildung, Verpuffung, Explosion).
- Bei *guter Luftzufuhr* oder höherem Sauerstoffgehalt bessere Verbrennung
Reiner Sauerstoff erhöht die Verbrennungsgeschwindigkeit erheblich.
Öle und Fette können sich in Sauerstoff ohne äußere Erwärmung entzünden (Selbstentzündung).

1.3 Wärme

– Zündquelle

Die Zündquelle ist eine Energiequelle, die brennbaren Stoffen oder Stoffgemischen Zündenergie (Zündwärme) zuführen kann.

– Zündung

Die Zündung ist die Einleitung einer sichtbaren, schnell verlaufenden Verbindung von brennbarem Stoff und Sauerstoff.

Eine zündfähige Mischung von brennbarem Stoff und Sauerstoff wird erst dann zum **zündfähigen System**, wenn sie in den für die Zündung erforderlichen „Mindest-Wärmezustand“ versetzt wird. Dazu muss Zündenergie (Zündwärme) durch eine Zündquelle zugeführt werden.

• Fremdentzündung

Wird diese Zündenergie in einer für die Zündung erforderlichen Menge von außen zugeführt, so spricht man von Fremdentzündung. Diese kann erfolgen durch:

Berührung mit Flammen oder Glut

Elektrische Funken

Reibungswärme

Wärme, die übertragen wird durch

Wärmeleitung

Wärmestrahlung

Wärmeströmung

• Selbstentzündung

Wird die Zündenergie nicht von außen zugeführt, sondern durch die eigene Reaktionswärme des brennbaren Stoffes in entsprechenden Mengen unter Wärmestau erzeugt, kann es zur Selbstentzündung kommen.

– Zündtemperatur

Die Zündtemperatur ist die jeweilige Mindesttemperatur, auf die ein brennbarer Stoff gebracht werden muss, um sich bei entsprechender Berührung mit dem Sauerstoff der Luft zu entzünden.

Temperatur ist der Wärmezustand eines Stoffes.

Die Werte für die Zündtemperaturen sind besonders bei den festen brennbaren Stoffen schwer zu ermitteln. Sie werden deshalb oft als Mittelwerte und in der Fachliteratur uneinheitlich angegeben (z. B. Holz je nach Art 240 - 300 °C, Papier 180 - 360 °C, Koks 510 - 640 °C, Petroleum 380 - 440 °C).

Nach dem Erreichen der Zündtemperatur wird das Brennen eingeleitet. Eine selbständig fortschreitende Verbrennung kann aber erst beim Erreichen der Mindestverbrennungstemperatur aufrechterhalten bleiben, die oft wesentlich höher als die Zündtemperatur liegt.

– Zündenergie (Zündwärme)

Die Zündenergie ist die von einer Zündquelle abgegebene Energie. Sie ist eine die jeweilige Zündquelle kennzeichnende Größe.

Wärme ist eine Form der Energie (zur Verdeutlichung: Wärmeenergie kann in Bewegungsenergie umgewandelt werden, z. B. Verbrennungsmotoren).

Die Zündenergie, die einem brennbaren Stoff zur Einleitung der Verbrennung mindestens zugeführt werden muss, wird als Mindestentzündungsenergie bezeichnet. Der brennbare Stoff erreicht dann einen Wärmezustand, der mit Zündtemperatur bezeichnet wird. Die Zündenergie muss dabei den brennbaren Stoff für die Zündung und Verbrennung in der Regel „aufheizen“ und ihn meist über Zwischenzustände (Aggregatzustände) „aufbereiten“ (zersetzen, verschwelen, verflüssigen, verdampfen). Die „Aufbereitung“ kann übrigens bereits durch eine andere, „fremde“ Energiequelle (Wärmequelle) erfolgt sein, die z. B. nur zum Verdampfen eines flüssigen brennbaren Stoffes „ausreichte“, nicht aber zur Entzündung des Dampfes.

Die erforderliche Mindestentzündungsenergie hängt ab von der Art des brennbaren Stoffes, seiner Oberfläche und Verteilung, dem Sauerstoffanteil der Luft, sowie dem Mischungsverhältnis/Kontaktverhältnis zwischen dem brennbaren Stoff und Sauerstoff.

Beispiel:

Zündenergie des Feuerzeugfunktens reicht für die Entzündung von Benzindampf im Dochtbereich, nicht aber für die Entzündung von einem Holzspan. Zündholz entzündet einen Holzspan, nicht aber Koks.

Weitere Einflüsse auf den Zündvorgang, z. B. durch Anwesenheit sogenannter Katalysatoren bleiben hier unberücksichtigt.

Zündenergie (Zündwärme), Zündtemperatur und Mindestverbrennungstemperatur sind in der vereinfachten „Verbrennungsformel“ (vgl. Nr. 1, S. 3) und im „Verbrennungsschema“ (vgl. Anlage) unter dem Begriff „Wärme“ zusammengefasst. In der Brandpraxis entsprechen sie den Begriffen „kritische“ Wärme und „kritische“ Temperatur. Der mögliche Weg der Übertragung der „kritischen“ Wärme bedeutet die mögliche Brandbedrohung (= Ausdehnungsgefahr).

2. Die Verbrennung

Sind die Voraussetzungen der Verbrennung erfüllt und erfolgt das Entzünden des zündfähigen Systems, beginnt das Brennen.

Brennen ist eine mit Flamme und/oder Glut selbständig ablaufende Reaktion zwischen einem Stoff und Sauerstoff oder Luft. Dabei wird Wärme frei.

2.1 Mindestverbrennungstemperatur

Der Übergang vom Entzünden zum selbständigen Brennen ohne Energiezufuhr von außen erfolgt bei Erreichen der Mindestverbrennungstemperatur.

Die Mindestverbrennungstemperatur ist der niedrigste Wärmeszustand, den der brennbare Stoff erreichen muss, um ein selbständiges Brennen ohne Energiezufuhr von außen aufrechtzuerhalten.

2.2 Verbrennungsgeschwindigkeit

Die Verbrennungsgeschwindigkeit wird durch die Art des brennbaren Stoffes und durch das Mengenverhältnis beeinflusst.

- Art des brennbaren Stoffes
 - Leicht brennbar
Diese Stoffe brennen nach der Entzündung und Fortnahme der Zündquelle mit hoher Geschwindigkeit ab.
Beispiele:
Stroh
Zellhorn
Brennbare Gase
 - Normal brennbar
Diese Stoffe brennen nach der Entzündung und Fortnahme der Zündquelle mit normaler Geschwindigkeit ab.
Beispiele:
Holz
Pappe
 - Schwer brennbar
Diese Stoffe brennen nach der Entzündung nur unter ständiger Wärmezufuhr ab.
Beispiele:
Schafwolle
Baumwolle
Holzwolle-Leichtbauplatten
- Bei einem brennbaren Stoff kann durch Änderungen der Sauerstoffkonzentration, der Verteilung der festen brennbaren Stoffe, bzw. der Konzentration der dampfbildenden und gasförmigen brennbaren Stoffe ein für die Verbrennung günstigeres oder schlechteres Mengenverhältnis herrschen.
Je nach Mengenverhältnis verläuft dann die Verbrennung
langsam,
normal,
schnell.

2.2.1 Langsame Verbrennung

- Wird das Mengenverhältnis durch Verringerung des Sauerstoffanteils verändert (z. B. schlechte Luftzufuhr), läuft der Verbrennungsvorgang langsamer ab. In der Zeiteinheit wird weniger Wärme frei.

Beispiel:

Drosselt man den Zug im Ofen, reicht die nachgelegte Kohlenmenge länger, der Ofen bringt aber auch nicht so viel Wärme.

- Die Drosselung der Sauerstoffzufuhr kann den Verbrennungsvorgang so stark hemmen, dass er zum Stillstand kommt. Verbrennung ist in der Regel nur möglich, wenn der Sauerstoffanteil der Luft nicht weniger als 15 % beträgt. Bei Sauerstoffmangel erfolgt nur zum Teil eine Zersetzung des festen brennbaren Stoffes in feste und gasförmige Bestandteile. Die Verbrennung ist **unvollkommen**.

Beispiel:

Völliges Abdecken des Ofenfeuers mit Kohle

- Bei unvollkommener Verbrennung verbrennt der Kohlenstoff zum Teil zu Kohlenmonoxid (CO) und nicht nur zu Kohlendioxid (CO₂). Nicht oder unvollkommen verbrannte Bestandteile des brennbaren Stoffes (Ruß) können bei plötzlichem Sauerstoffzutritt mit Stichflamme abbrennen.

Beispiel:

Öffnen geschlossener Brandräume

2.2.2 Normale Verbrennung

- Beim richtigen Mengenverhältnis zwischen brennbarem Stoff und Sauerstoff spricht man von der normalen Verbrennung. Normale Verbrennung erfolgt in der Regel bei ungehindertem Luftzutritt (Sauerstoffanteil rund 21 %).

Beispiel:

Feuer im Ofen brennt „richtig“, wenn für den „richtigen“ brennbaren Stoff der „richtige Zug“ herrscht.

- Bei der normalen Verbrennung wird der brennbare Stoff vollkommen verbrannt.

Beispiel:

Richtige Einstellung des Ölbrenners – Verbrennung ohne Ruß

2.2.3 Schnelle Verbrennung

- Beim optimalen (bestmöglichen) Mengenverhältnis zwischen brennbarem Stoff und Sauerstoff, wenn Luftzutritt ungehindert (ggf. mit reinem Sauerstoff angereichert) ist, feste, glutbildende brennbare Stoffe fein verteilt sind, dampfbildende und gasförmige brennbare Stoffe in einer Konzentration innerhalb der Zündgrenzen vorhanden sind, kann eine Verbrennung besonders schnell ablaufen.

- Je nach Verbrennungsgeschwindigkeit unterscheidet man dabei zwischen
 - Verpuffung
Die Verbrennungsgeschwindigkeit liegt im Bereich cm/sek.
Beispiel:
Dampf- oder Gas-Luft-Gemisch liegt in der Nähe der unteren bzw. oberen Zündgrenze.
 - Explosion
Die Verbrennungsgeschwindigkeit liegt im Bereich m/sek.
Beispiel:
Dampf- oder Gas-Luft-Gemisch liegt im Bereich des optimalen Mischungsverhältnisses, auch Staub-Luft-Gemische bei optimalem Kontaktverhältnis.
 - Detonation
Die Verbrennungsgeschwindigkeit liegt im Bereich km/sek.
Beispiel:
Acetylen-Sauerstoff-Gemisch

3. Ergebnis der Verbrennung

- Der Verbrennungsvorgang setzt sich so lange fort, wie die Voraussetzungen der Verbrennung erfüllt sind und genügend Wärmeenergie zur Aufrechterhaltung der Mindestverbrennungstemperatur frei wird.
- Dabei entstehen Reaktionsprodukte, die in drei Gruppen gegliedert werden können:
 - Wärme
 - Verbrennungsgase
 - Rückstände

3.1 Wärme

Unter Wärme im Sinne des Wärmeergebnisses einer Verbrennungsreaktion ist die Verbrennungswärme zu verstehen.

- **Verbrennungswärme** ist die Wärme, die bei der vollständigen Verbrennung eines Stoffes frei wird. Die Verbrennungswärme, bezogen auf die Masse des brennbaren Stoffes, wird als Heizwert („Wärmeinhalt“ des brennbaren Stoffes ausgedrückt in kJ/kg, früher kcal/kg) bezeichnet.
- Ein Teil der Verbrennungswärme wird zur Aufrechterhaltung der Mindestverbrennungstemperatur wieder benutzt (**Kreislauf der Wärme**). „Überschüssige“ Wärme wird an die Umgebung abgeführt.

Wird die Wärmeabgabe zu groß (Entzug von Wärme durch Löschmaßnahmen) oder die Wärmeerzeugung zu gering, sodass die Verbrennungstemperatur unter die Mindestverbrennungstemperatur sinkt, wird der Kreislauf der Wärme unterbrochen. Die Verbrennung hört auf.

Bei schwer entflammaren Stoffen reicht die Verbrennungswärme nicht zur Aufrechterhaltung der Mindestverbrennungstemperatur, deshalb muss ständig „Fremdwärme“ zugeführt werden.

Ohne einen gewissen „natürlichen“ Wärmestau ist weder Zündung noch Verbrennung möglich.

Wärmezufuhr oder -erzeugung muss also größer sein als Wärmeverbrauch und (oder) -abgabe, sonst erlischt das Feuer.

- Durch die freiwerdende Verbrennungswärme wird auch die **Verbrennungstemperatur** (auch als Brandtemperatur bezeichnet) entscheidend beeinflusst. Die Verbrennungstemperatur kann je nach Verbrennungsgeschwindigkeit und Wärmeübertragung an die Umgebung schwanken.

– **Wärmeübertragung**

Wärmeübertragung ist die Überführung von Wärme von einem Ort zu einem anderen durch Wärmeleitung, Wärmeströmung (Wärmemitführung) und Wärmestrahlung.

- **Wärmeleitung**

Wärmeleitung ist die Übertragung von Wärme innerhalb eines festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffes oder von Stoff zu Stoff bei Berührung.

Beispiele:

Wärmeleitung innerhalb eines Stahlträgers
Wärmeleitung von der Ofenplatte zum Kochtopf
Die Wärmeleitfähigkeit der Stoffe ist unterschiedlich.

Beispiele:

Gute Wärmeleiter: Metalle
Schlechte Wärmeleiter: Holz, Ziegel, Luft

- **Wärmeströmung**

Wärmeströmung (Wärmemitführung) ist die Übertragung von Wärme in Gasen oder Flüssigkeiten durch deren Strömung.

Beispiele:

Aufsteigende Brandgase
Wärmekreislauf in der Warmwasserheizung

- **Wärmestrahlung**

Wärmestrahlung ist die elektromagnetische Strahlung, die ein Stoff infolge seiner Temperatur unter Abgabe eines Teiles seines Wärmeinhaltes an die Umgebung aussendet.

Die Wärmestrahlung breitet sich wie die Lichtstrahlung nach allen Richtungen aus. Sie ist nicht an einen Wärmeträger gebunden. Deshalb wird sie durch die Windrichtung nicht beeinflusst.

Bei höheren Verbrennungstemperaturen ist auch die Wärmestrahlung stärker.

Die Intensität der Wärmestrahlung nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab.

3.2 Verbrennungsgase (Brandgase)

- Verbrennungsgase sind ein gasförmiges Gemisch aus bei Bränden entstehenden Oxiden
 - Kohlendioxid bei vollkommener Verbrennung
 - Kohlenmonoxid bei unvollkommener Verbrennung
- Inerten Anteilen (nicht brennbare Gase) und Pyrolyseprodukten (Schwelprodukte).
- Werden bei der Verbrennung mit den Verbrennungsgasen feste und flüssige Teilchen (z. B. Ruß, Holzkohle, Flugasche, Wasserdampf) mitgerissen, entsteht Rauch.
- Verbrennungsgase und Rauch enthalten für den Menschen gefährliche Atemgifte. Sie sind besonders gefährlich in geschlossenen Räumen, wenn sie sich nicht durch Wärmeauftrieb verflüchtigen können.

3.3 Rückstände

- Zu den Rückständen der Verbrennung gehören feste Stoffe.
Beispiele:
 - Asche
 - Schlacke
 - Schmelzprodukte
- Aus den Rückständen (z. B. Schmelzspuren, auch nichtbrennbarer Stoffe) lässt sich u. U. auf die Verbrennungstemperatur schließen, die bei einem Brand geherrscht hat (wichtig für Brandursachenermittlung).
- Ruß und Holzkohle sind keine „Rückstände“ im Sinne des Verbrennungsergebnisses, sondern unverbrannt gebliebener brennbarer Stoff (Kohlenstoff).

II. Löschvorgang

- Eine Verbrennung kann auf natürliche Weise zu Ende gehen, wenn eine der Voraussetzungen der Verbrennung nicht mehr erfüllt ist. Folge:
Die Verbrennungswärme nicht mehr ausreicht, um die Mindestverbrennungstemperatur des brennbaren Stoffes aufrecht zu erhalten.
Der „Kreislauf der Wärme“ wird unterbrochen, wenn
kein oder nicht mehr genügend Sauerstoff zur Verfügung steht,
der brennbare Stoff aufgebraucht ist.
- Nach den gleichen Grundsätzen kann eine Verbrennung auch **gezielt unterbunden** werden. Diese Unterbindung der Verbrennung bezeichnet man als **Löschen**.
- Die dabei verwendeten **Löschverfahren** nennt man entsprechend
Abkühlen
Ersticken
Beseitigen.
Als viertes Löschverfahren ist noch die antikatalytische Löschwirkung bekannt, die jedoch durch das Verbot der Verwendung von Halon-Löschmitteln wesentlich an Bedeutung verloren hat. Sie tritt aber bei verschiedenen zugelassenen Löschmitteln als zusätzliche Löschwirkung auf.
- Für die Feuerwehrpraxis hat sich folgender Grundsatz bewährt:
Glut muss abgekühlt, Flammen müssen erstickt werden

Die nachfolgenden Löschverfahren beschreiben nur die Prinzipien dieser Vorgehensweisen. Die auf die einzelnen Löschmittel abgestimmten Löschverfahren sind Gegenstand des Merkblatts „Löschmittel-Löschverfahren“.

1. Abkühlen

- Abkühlen ist ein Löschverfahren, bei dem den brennenden Stoffen durch das Löschmittel oder durch andere Maßnahmen die zum Aufrechterhalten einer Verbrennung erforderliche Wärme entzogen wird.
Dies erfolgt in der Regel durch physikalische Zustandsänderungen oder chemische Reaktion der Löschmittel.
- Wird der Wärmezustand des brennenden Stoffes unter die Mindestverbrennungstemperatur gebracht, erlischt der Brand.
- Bei diesem Löschverfahren findet hauptsächlich das Löschmittel Wasser in verschiedenen Formen Anwendung.

2. Ersticken

- Ersticken ist ein Löschverfahren, bei dem die Verbrennung durch Veränderung des Mengenverhältnisses zwischen brennbarem Stoff und Sauerstoff unterbunden wird.
- Durch Ersticken wird der Wärmezustand des brennbaren Stoffes nicht primär beeinflusst.

Dieses Löschverfahren eignet sich deshalb nicht zum Löschen von festen, glutbildenden Stoffen, da zur Verhinderung einer Rückzündung der Stickeffekt sehr lange aufrecht erhalten werden müsste.

Dies ist in der Praxis bei fortgeschrittenen Bränden kaum durchführbar.

- Bei dampfbildenden brennbaren Stoffen ist zu beachten, dass ein Brand erst „gelöscht“ ist, wenn auch der Flammpunkt unterschritten wird.

Oberhalb des Flammpunktes bilden sich ständig brennbare Dämpfe. Diese können sich wieder entzünden, wenn sich nach Unwirksamwerden des Löschmittels wieder ein zündfähiges Mischungsverhältnis herstellt (Sauerstoffzutritt) und in seinem Bereich noch eine entsprechende Zündquelle vorhanden ist.

- Bei hochentzündlichen und leichtentzündlichen brennbaren Flüssigkeiten (Flammpunkt unter + 21 °C) sind brennbare Dämpfe in der Regel auch bei Normaltemperatur vorhanden.

Nach der Unterbindung der Verbrennung muss deshalb dort besonderer Wert auf die Entfernung aller Zündquellen gelegt werden. Auch bei gasförmigen brennbaren Stoffen muss auf die Rückzündungsgefahr durch die im Verbrennungsbereich liegenden, über die Zündtemperatur des Gases erwärmten Gegenstände geachtet werden.

- Beim Löschmittel Pulver tritt aufgrund der chemischen Zusammensetzung neben dem Stickeffekt zusätzlich ein sog. antikatalytischer Löscheffekt ein. Dabei wird trotz Vorhandensein von brennbarem Stoff, Sauerstoff und Wärme der chemische Ablauf der Verbrennung gestört (auch Inhibitionseffekt oder inneres Ersticken genannt).

- Die erstickende Wirkung kann durch folgende Verfahren erreicht werden:
Verdrängen
Abdecken

2.1 Verdrängen

- Das Prinzip des Verdrängens beruht auf dem Stören des Mengenverhältnisses zwischen brennbarem Stoff und Sauerstoff durch Verminderung des Sauerstoffanteils der Luft (Sauerstoffkonzentration) bei Dampf-Luft- und Gas-Luft-Gemischen.

Dieses Ziel kann durch Beimischen von in der Regel gasförmigen Löschmitteln (z. B. Kohlendioxid), aber auch von Löschpulver (Pulverwolke) und von bestimmten flüssigen Löschmitteln (Dampfwolke) erreicht werden.

- Beim Verdrängen verlangsamt sich die Verbrennung bis zum Stillstand entsprechend der verminderten Sauerstoffkonzentration.
In der Regel findet bei weniger als 15 % Sauerstoffanteil in der Luft keine Verbrennung mehr statt.

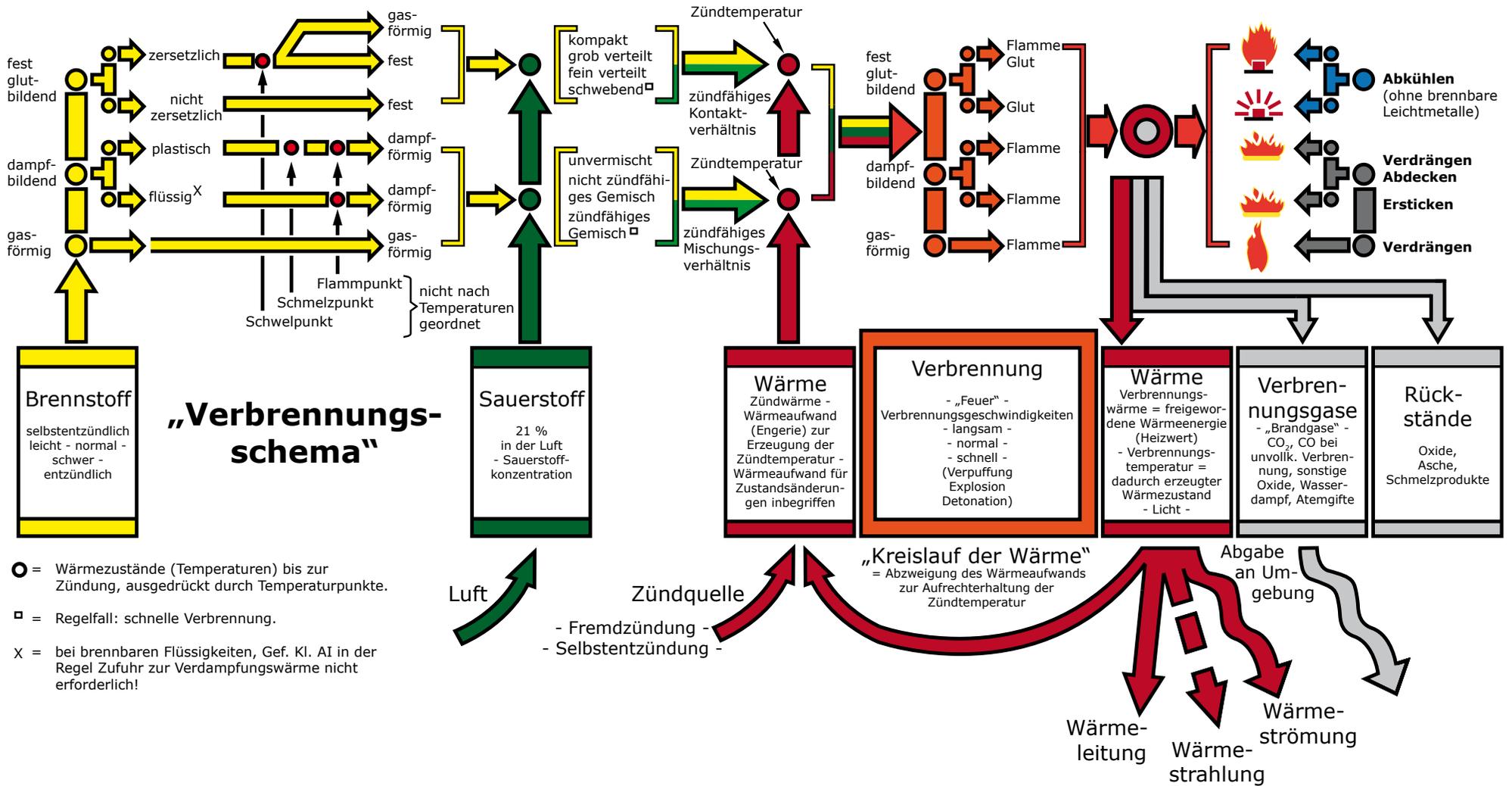
2.2 Abdecken

- Beim Abdecken wird der dampfbildende brennbare Stoff gegen den Sauerstoff abgeschlossen.
Dadurch wird der „Nachschub“ des brennbaren Stoffes im zündfähigen, dampfförmigen Zustand in die Verbrennungszone verhindert und der Verbrennungsvorgang unterbrochen.
- Dieses Prinzip findet z. B. beim Ablöschen einer brennenden Flüssigkeit mit Schaum Anwendung. Die dabei gebildete Schaumschicht verhindert die Entstehung von zündfähigen Dämpfen über der Flüssigkeitsoberfläche. Gleichzeitig wird der Zutritt von Sauerstoff zum brennbaren Stoff verhindert, die Flammen werden erstickt.

3. Beseitigen

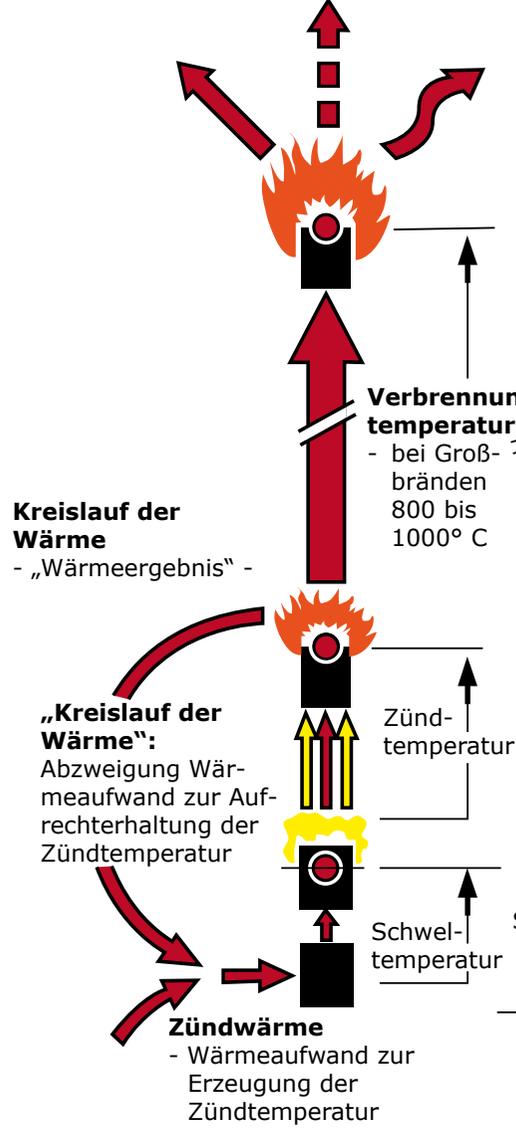
- Beseitigen ist kein chemisch-physikalischer, sondern ein löschtechnischer Vorgang, bei dem der brennbare Stoff als eine der Voraussetzungen der Verbrennung aus der Verbrennungszone entfernt wird und die Verbrennung aus Mangel an brennbarem Stoff zum Erliegen kommt.
- *Beispiele* für die Anwendung dieses Verfahrens sind:
 - Wegräumen fester brennbarer Stoffe
 - Einrichtungsgegenstände
 - Lagergut aller Art wie Heu, Holz, Kohle
 - Beseitigen von Feuerbrücken
 - Errichtung von Brandschneisen bei Waldbränden
 - Entfernen und Entleeren von Behältern mit festen, dampfbildenden und gasförmigen brennbaren Stoffen
 - Schließen von Zuleitungen für dampfbildende und gasförmige brennbare Stoffe

Voraussetzung der Verbrennung					Verbrennung	Ergebnis	Löschvorgang	
Form der Brennstoffe	Zustands- änderung	Zündfähiger Zustand	Verteilung	Mengen- verhältnis	Zündfähiges System	- vollkommen - - unvollkommen -	der Verbrennung	Regelfall Kühlwirkung - Stickwirkung

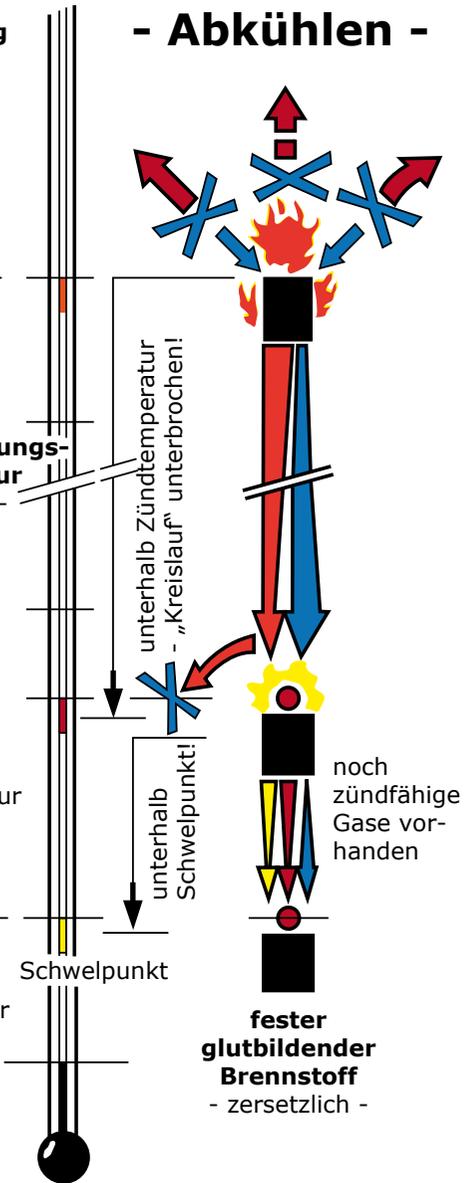


Brennen

Wärmeabgabe an Umgebung

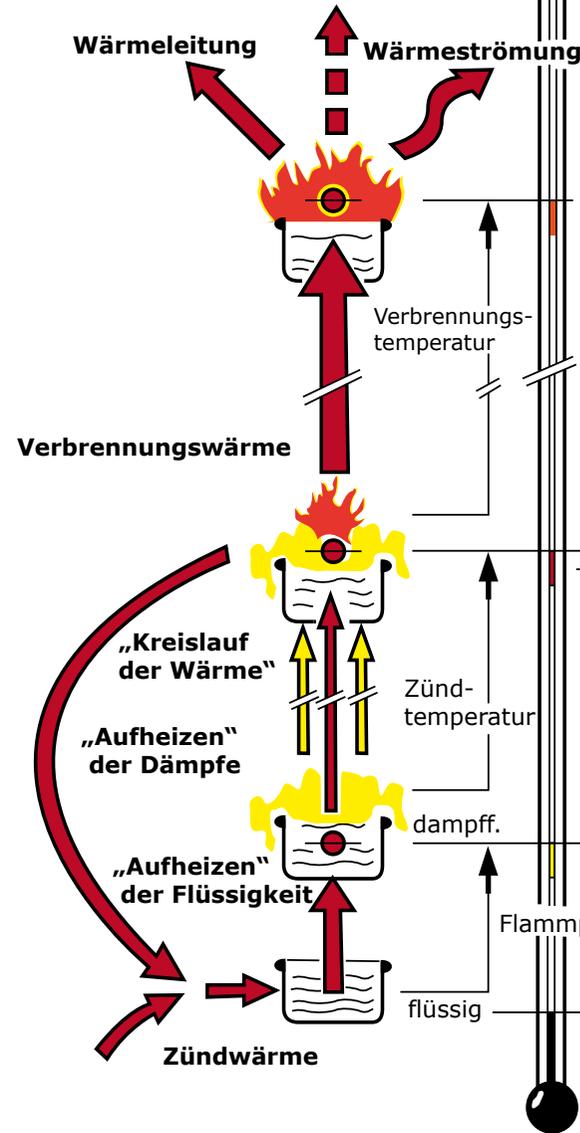


Löschen - Abkühlen -

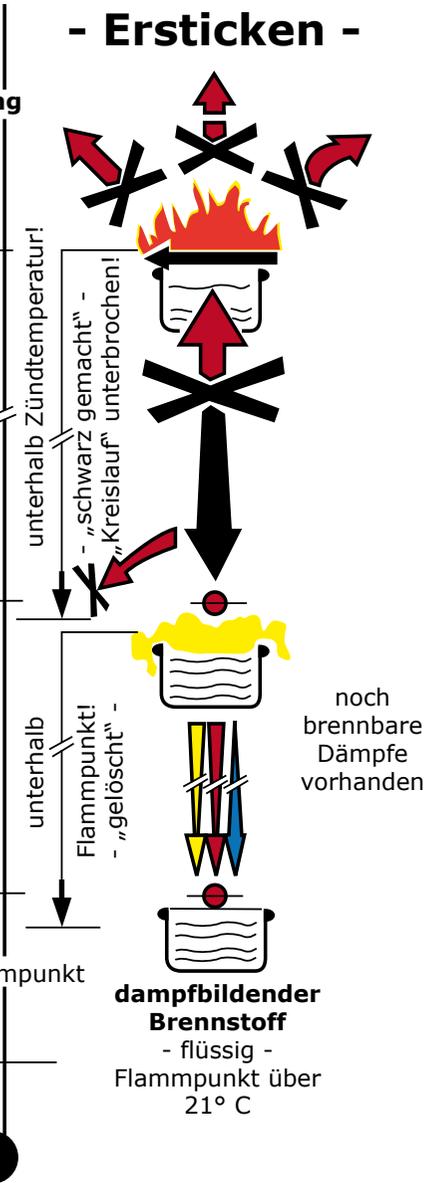


Brennen

Wärmestrahlung



Löschen - Ersticken -



Merkblatt: Brennen und Löschen

Herausgeber: Staatliche Feuerweherschule Würzburg, Weißenburgstr. 60, 97082 Würzburg

Mitwirkung: Staatliche Feuerweherschulen Geretsried und Regensburg, Fachbereich 3 des Landesfeuerwehrverbandes

www.sfs-w.de 17. unveränderte Auflage, Stand 10/2004

Nachdruck nur mit Genehmigung des Herausgebers.